

УДК 621.961

Роганов Л. Л.
Карнаух Д. С.
Карнаух С. Г.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТРУБ НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ. СООБЩЕНИЕ 1

Применение труб в различных машинах непрерывно расширяется. В мировой практике производство труб различного назначения осуществляется с ограничением их размеров по длине, что приводит к необходимости разрезания труб на заготовки требуемой длины. Поэтому на современном этапе развития машиностроения проблема экономичного использования энергоресурсов и металла при его переработке, предъявляет все возрастающие требования к технологии и оборудованию для разделения исходных материалов на заготовки.

На каждом машиностроительном предприятии операция разделения сортового проката и, в частности труб, является типичной и массовой. Учитывая, что в Украине ежегодно производятся десятки миллионов заготовок из проката и труб, становится очевидной актуальность работ, направленных на совершенствование существующих и разработку новых технологий получения мерных заготовок. Это требует развития всего многообразия известных и создания новых эффективных разделительных процессов и оборудования для их реализации.

Ранее в работах [1–6] были рассмотрены вопросы технологии и оборудования для разделения сортового проката и труб на мерные заготовки. Однако широкий ассортимент труб подлежащих разделению на мерные длины требует использования большого количества разнообразных инструментов и устройств, с помощью которых разделение производится, зачастую, малоэффективно, со значительными расходами энергии и материала превращаемого в стружку или в отход при оплавлении. Несмотря на большое количество применяемых методов и средств раскроя, очевидна диспропорция между уровнем основного металлообрабатывающего оборудования и оборудования заготовительного производства.

Целью работы является анализ применяемых в промышленности технологий и оборудования для разделения труб на мерные заготовки, а также разработка новых конструкций оборудования и оснастки для получения качественных трубных заготовок с улучшенными технико-экономическими показателями.

Классификация способов разделения труб на мерные заготовки представлена на рис. 1. На сегодняшний день существует множество способов резки труб, каждый из которых характеризуется совокупностью технико-экономических показателей и имеет свою рациональную область применения. Способы разделения сортового проката оценивались следующими показателями: качеством получаемых заготовок; производительностью процесса; затратами энергии на разделение; расходом и дефицитностью инструмента; сложностью оснастки и ее универсальностью [7].

По признаку расхода металла в отход (1) все известные способы разделения сортового проката (труб) [8] можно разделить на три группы: отходные способы (1.1): резка на дисковых пилах, фрезерно-отрезных станках, токарных станках, приводных ножовках и т. д.; отходные способы с необратимыми отходом (1.2): резка абразивными, фрикционными инструментами, газовой резкой, плазмой, лазером и т. д.; безотходные способы (1.3): отрезка сдвигом, холодная ломка изгибом, резка клиновыми дисковыми ножами и т. д. (см. рис. 1). Резка на фрезерно-отрезных станках широко распространена в отечественной промышленности благодаря своей универсальности, точности, простоте автоматизации цикла и сравнительно высокой производительности. Недостатком способа является расход металла в стружку.



Рис. 1. Классификация способов разделения труб на мерные заготовки

В последние годы в промышленности все шире используют ленточно-отрезные и ленточно-пильные станки. Производительность разрезки ленточными пилами в 5...6 раз выше, чем на отрезных ножовочных станках, и в 1,5...2,0 раза – чем на фрезерно-отрезных.

В мелкосерийном производстве для разделения труб на заготовки используют разрезку резцами на токарно-отрезных станках. К преимуществам этого способа работы следует отнести высокую точность и чистоту поверхности разделения, универсальность и дешевизну, легкость и простоту в обслуживании; к недостаткам – сравнительно широкий пропилен и повышенный расход металла в стружку, возможность «недореза» и необходимость его последующего удаления, а также невысокую стойкость резцов. В кузнечно-заготовительном производстве этот способ находит ограниченное применение. Последующую обработку труб с целью удаления заусениц и снятия фасок проводят на отрезных станках или специальных установках.

Резка на дисковых пилах обеспечивает лучшее качество торцов и точность размеров заготовки по длине. Недостатком способа является сравнительно низкая производительность, большой расход инструмента и дополнительные отходы металла на каждую резку – 3...8 мм при дисках диаметром 300...800 мм. Поэтому резку стального проката на дисковых пилах применяют только в тех случаях, когда требуется очень точная длина заготовки и торец, строго перпендикулярный к оси.

Резка ножовочными полотнами характеризуется малой шириной реза – 2,5...3,0 мм, простотой обслуживания станков и небольшими затратами на осуществление самого процесса. Однако для станков характерна низкая стойкость полотен, а их производительность ниже, чем у фрезерно-отрезных и ленточных станков.

Пламенная резка с проникающей дугой, ацетиленокислородная резка и прочие подобные технологии не позволяют обеспечить чистоту поверхности среза и высокую точность проведения работ. При этом отходы при газовой резке составляют 4...8 мм по длине трубы на каждую заготовку. На заготовительных участках мелкосерийного и индивидуального производства для разделения труб больших сечений применяют кислородную резку. Существенным недостатком этого метода являются потери расплавленного металла, прикалка и большие неровности поверхности реза.

Электроискровая и анодно-механическая резка дают возможность получения заготовок точных размеров, имеющих малое отношение длины к диаметру при небольших отходах металла. Однако существенными их недостатками являются малая стойкость латунных электродов (дисков), значительный расход электроэнергии и относительно небольшая скорость резки, которая не превышает, например, скорости фрезерования.

Лазерная резка металла является именно тем методом, который избавлен от всех выше приведенных недостатков. При использовании технологии лазерной резки можно увеличить производительность самого процесса, а также улучшить качество поверхности среза. Для работы могут использоваться различные типы лазеров: жидкостные, газовые, твердотельные. Благодаря лазерной резке отсутствие механического воздействия на обрабатываемый материал исключается, а это означает, что детали не деформируются. Если же временные или остаточные деформации возникнут, то они будут минимальными. Простота обработки, небольшая площадь термического воздействия даже при работе со сверхтвердыми материалами – эти и другие преимущества лазерной резки уже давно оценены во всем мире. Однако резка с помощью лазеров еще не получила широкого применения в промышленности из-за своей дороговизны.

Для обработки твердых материалов применяют резку ультразвуком. Производительность этих методов небольшая, они не вышли из стадии опытно-экспериментальных исследований и требуют усовершенствования.

За сравнительно короткий срок резание абразивными и алмазными кругами получило широкое распространение в отечественной и зарубежной промышленности. К достоинствам метода надо отнести его высокую производительность. Однако увеличение расхода инструмента при резании абразивными кругами и высокая стоимость алмазных кругов, снижение

диаметра раскраиваемого проката (до 60 мм) и запыленность заготовительных участков, наряду с частой поломкой кругов и прокаливанием поверхности среза, снижают преимущества метода и сдерживают его более широкое внедрение.

Для разделения проката в широком диапазоне сечений применяются летучие пилы, которые позволяют осуществлять разрезание изделий без замены инструмента при хорошем качестве поверхностей реза. При разрезании труб в горячем состоянии летучие пилы работают в условиях высоких температур, большого количества окалины, безостановочной работы в течении нескольких суток, высоких скоростей разрезаемой трубы.

Наиболее перспективными, с точки зрения производительности и отходности, являются безотходные способы разделения (1.3) (см. рис. 1).

Разделение труб холодной ломкой изгибом (2.2, см. рис. 1) заключается в нанесении на прокат концентратора напряжений с последующим разделением его, в плоскости концентратора напряжений, путём многократного знакопеременного изгиба. На основе этого способа создана летучая отрезная машина, в которой кольцевая риска наносится путём обкатывания дискового ножа вокруг трубы с одновременным перемещением его в радиальном направлении. Затем труба с нанесённой риской попадает в роторный косовалковый механизм, где происходит усталостное разрушение по концентратору напряжений – кольцевой риске. При этом обеспечивается высокое качество реза, в том числе на нагартованных тонкостенных стальных трубах, исключается деформация концевых сечений трубы.

Отрезка сдвигом (2.3, см. рис. 1) является наиболее эффективным и перспективным способом получения мерных заготовок, с точки зрения производительности и отходности. Так, например, объём работы 7...8 пил по разрезке труб можно выполнить в одном отрезном штампе. Замена резки труб на металлорежущих станках разрезкой в штампах обеспечивает экономию 5...40 % металла в зависимости от длины заготовки. Отрезка сдвигом осуществляется на ножницах и в штампах, устанавливаемых на кривошипных прессах [9].

При разделении труб холодной ломкой изгибом или отрезкой сдвигом имеет место металлический контакт инструмента с заготовкой (4.1, см. рис. 1). Это приводит к искажению формы заготовки в зоне их локального соприкосновения вследствие больших величин контактных напряжений, а также к образованию сколов, вырывов металла, микро- и макротрещин при разделении хрупких сталей. Введение между поверхностью трубы и инструмента промежуточной среды (4.2, см. рис. 1) позволяет улучшить качество излома и всей заготовки в целом. Наиболее эффективной и технологически удобной средой для передачи прокату динамической нагрузки является жидкость (4.3, см. рис. 1).

Группа исследователей: В. М. Финкель, Ю. И. Головин, В. М. Умрихин, Г. Б. Родюков [10] предложили ряд перспективных методов разделения и конструкций оборудования для их реализации.

1. Разделение гидростатическим обжатием. Способ ломки проката заключается в том, что прокат с нанесённым концентратором напряжений вводится в кольцевую гидрополость цилиндра и обжимается гидростатическим давлением. При этом вдоль концентратора напряжений одновременно создаются осевые растягивающие и радиальные сжимающие напряжения. При гидравлическом обжатии проката в зоне излома трещина растёт устойчиво в ортогональном к его оси сечении, что повышает качество поверхности торца. Шероховатость поверхности разделяемого металла не превышает размера зерна. Особенность этого метода – чрезвычайная легкость зарождения исходной трещины. Жидкость под давлением проникнет в мельчайшие поры и создаст дополнительное расклинивание, содействующее появлению трещины. Лучшая форма концентратора напряжений при этом – прямой надрез. Вследствие реализации безопорной схемы нагружения поверхность излома не имеет сколов, вырывов, макротрещин и зон пластической деформации металла. Однако оборудование с реализацией «пинч – эффекта» не нашло широкого применения в промышленности вследствие: сложности герметизации гидрополости высокого давления с введённым в нее прокатом; необходимости обеспечения высоких значений критических давлений для разделения; образования утяжки зоны гидравлического обжатия. Величина утяжки увеличивается с ростом пластичности разделяемых материалов [10].

2. Разделение гидродинамическим обжатием. Разрушение проката гидродинамическим давлением при реализации способа разделения гидродинамическим обжатием упрощает проблему герметизации гидрополости, поскольку разрушение наступает даже при величине зазора между поверхностью проката и уплотнением – (0,1 ... 0,2 мм). При этом разрушение начинается сразу из многих точек по всему периметру концентратора напряжений, а не в одной точке, как при гидростатическом обжатии. Увеличение величины импульса давления обеспечивает уменьшение пластической деформации при разрушении. Упрощается вопрос герметизации гидрополости. Однако все остальные недостатки присущие разрушению гидростатическим обжатием в данном способе не преодолены [10].

3. Разделение труб в результате обжатия его мощным магнитным полем. Оно создается одновитковым соленоидом, по которому пропускается электрический импульс от батареи конденсаторов, достигающий 700 кЭ. При этом в металле развиваются разрывающие напряжения в 0,8 ГПа. Этот метод не нуждается в уплотнениях. Более того, с его помощью, повышая энергию конденсаторов, можно, в принципе, ломать любые металлы. Но метод этот не годится для массового производства из-за своей опасности и чисто технических неудобств работы с высокими напряжениями [10].

4. Ломка отколом. Идея метода заключается в том, что на стальной пруток длиной в несколько метров наносились концентраторы напряжений, а затем торец проката нагружали коротким продольным ударом. Например, можно стрелять стальным бойком со скоростью полета до 70...100 м/с; можно разогнать боек, используя потенциальную энергию упругой деформации сжатой жидкости или магнитным полем. Боек, ударяя о торец проката, создает в нем волну сжатия. Волна эта распространялась до второго торца и, отражаясь от него, превращалась в волну растяжения. При этом волна такого рода, как правило, быстро становится плоской. Это означает, что ее фронт по всему сечению проката ортогонален к его поверхности. Поэтому возникающая на поверхности металла трещина распространяется точно перпендикулярно длине прутка, обеспечивая высокую геометрическую точность поверхности разрушения. Первое разрушение имеем на конце стержня по ближайшему концентратору напряжений, где амплитуда напряжений впервые превысит временное сопротивление материала. К преимуществам ломки проката отколом относят: высокую производительность процесса, вследствие возможности множественного откола; ударный характер нагрузки (позволяющий достаточно легко получать напряжения, превосходящие временное сопротивление); однородность напряженного состояния в поперечном сечении стержня, благоприятно влияющая на качество торца заготовок; возможность получения коротких заготовок. Данный способ можно использовать для получения, как единичных заготовок, так и одновременного разделения всей штанги на их любое количество, как за счет одного ударного импульса большой амплитуды, так и за счет повторных импульсов растяжения малой длительности. Однако способ ломки проката отколом не нашел применения в промышленности из-за больших контактных напряжений на торце прутка. Например, для разделения проката из стали 45 с кольцевым концентратором напряжений с параметрами: глубиной 2 мм и радиусом закругления 0,1 мм при комнатной температуре скорость удара превышает 120 м/с. Однако практически уже при скорости удара около 10 м/с на ударном конце стержня развивается локальная пластическая деформация [10].

Использовать в полной мере преимущества ломки изгибом можно только при условии принятия дополнительных мер по радикальному улучшению качества скола и уменьшению энергоемкости процесса. Перспективным представляется создание методов нагружения для реализации сложного напряженного состояния, затрудняющего пластическое течение в зоне разрушения.

5. Перспективным, с точки зрения упрощения практической реализации, является метод гидродинамической безопорной ломки по схеме трехточечного изгиба, где имеет место гидродинамическое обжатие, особенно при разделении труб (рис. 2).

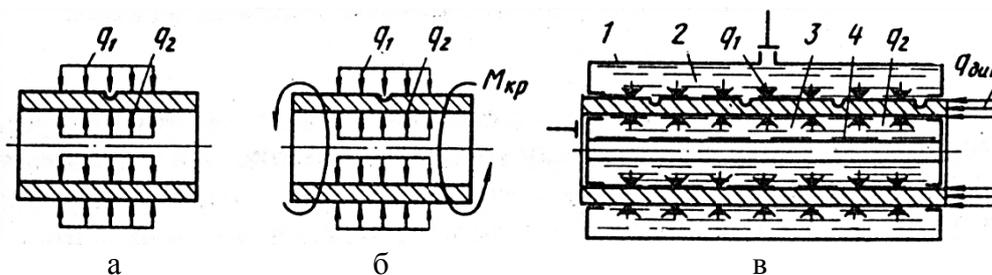


Рис. 2. Схемы нагружения трубчатых заготовок при разделении ломкой:

а – разрушение за счет создания разности давлений жидкости внутри и снаружи трубчатой заготовки (2.6.7, см. рис. 1); б – заготовка дополнительно нагружается крутящим моментом (2.4, см. рис. 1); в – трубчатая заготовка дополнительно нагружается импульсом продольной силы сжатия (2.6.1, см. рис. 1)

Сущность резки труб дисковым ножом (2.5, см. рис. 1) заключается в том, что диск внедряется во вращающуюся трубу, пластически деформируя ее, что обеспечивает отделение заготовки. Внедрение клинового ролика в трубу не приводит к образованию стружки, а только к пластическому оттеснению металла, что существенно снижает энергозатраты, так как разрезание трубы начинается сразу же при достижении уровня напряжений равных пределу текучести и не требует достижения уровня напряжений, соответствующих уровню временного сопротивления разрыву (рис. 3). Основным его недостатком является образование наплывов на надутой внутренней поверхности трубы, которая формируются в результате пластического вытеснения металла внедряющимся в него клином. Исследованиями различных авторов установлено, что образование наружного наплыва происходит при внедрении клина на глубину (0,45...0,65) толщины стенки, а после этого начинается образование наплыва на внутренней поверхности трубы [11].



Рис. 3. Схема нагружения трубы (а) и отрезанные мерные заготовки (б)

Данный способ позволяет полностью ликвидировать необходимость снятия кромок для последующих ступеней по формированию концов труб и даёт высокоточную длину нарезания секций. Процесс разрешает комбинировать резку труб с одновременными операциями на краях труб, как например, расширение или сужение диаметров, развальцовывание и формировка бороздок, на одной платформе с труборезом. Как правило, режущий инструмент вращается вокруг стационарной трубы.

Метод резки труб путем трансформации кинетической энергии (диабатический способ) использует эффект от сильного удара в узком диапазоне, что позволяет осуществить разделение по молекулярному строению материала (рис. 4). В результате, возможна исключительная быстрота и качество обрезаемых поверхностей. Ширина контрольного участка – 0,025...0,075 мм. От мгновенной трансформации энергии этот участок нагревается до высокой температуры и тут же остывает при разделении материала. При этом устраняется местное закаливание материала и не требуется отпуск. Этим способом можно резать любые профили заготовок [11].



Рис. 4. Схема нагружения проката (а) и отрезанные мерные заготовки (б)

Существует способ резки труб сдвигом (2.3, см. рис. 1), обеспечивающий высокую производительность [6]. Труба устанавливается в штамп на оправку неподвижного ножа и затем перемещается до упора на оправку подвижного ножа. Подвижный нож опускается и отрезает кольцевую заготовку. К недостаткам метода безотходной резки сдвигом следует отнести высокую точность базирования внутренних оправок для устранения возможного искривления отрезаемой заготовки. Способ отрезки сдвигом в штампах втулочными ножами с введением в отверстие трубы ножей-оправок не нашел широкого применения из-за образования на торцах заготовок утяжин и заусенцев.

Одним из методов улучшения качества резки труб является последовательный двухосный сдвиг в горизонтальном и вертикальном направлениях [6]. Схема двухосного сдвига (5.4, см. рис. 1) реализована в конструкции опытно-производственного штампа для резки труб диаметром (38...42 мм) на заготовки длиной (20...32 мм). На нижней плите штампа находятся цанговый подаватель, корпус и промежуточная плита. На верхней плите закреплены четыре клина. В корпусе установлены горизонтальный нож и вертикальный отрезной нож, который закреплен на промежуточной плите. Промежуточная плита имеет две направляющие, но ход ее вверх ограничен. В исходном положении вертикальный отрезной нож выставлен по оси подачи трубы. На промежуточной плите установлены упор, пуансон-вставка, каретка привода пуансона и буфер. При ходе ползуна прессы вверх труба со вставкой подается цанговым подавателем до упора. При ходе ползуна вниз каретка сдвигается влево и вводит в трубу пуансон; горизонтальный нож с трубой и вставкой сдвигается по горизонтали (боковой сдвиг), верхняя плита доходит до отрезного вертикального ножа и заготовка отрезается. Промежуточная плита смещается вниз. В это же время цанги подавателя возвращаются в исходное положение. При ходе вверх каретка перемещается вправо, выводит из отрезанной заготовки пуансон. Заготовка падает в лоток, а промежуточная плита поднимается в исходное положение. Заготовки, отрезанные с предварительным боковым сдвигом, характеризуются отсутствием эллипсности и вырывов металла.

Для резки тонкостенных труб разработан способ двух-переходной резки (2.6.3, см. рис. 1), заключающийся в предварительном сжатии трубы в зоне резания на плоский овал в пределах упругой деформации, последующей вырезке участков, соосных большей оси получаемого овала с помощью вильчатого плоского пуансона (ножа) и окончательной отрезке трубы с помощью ножа, движущегося в поперечном направлении. Недостатком данного способа является сложность реализации.

Избежать скола на поверхности отрезаемых заготовок методом одновременного кручения и сдвига (2.6, 2.6.5, см. рис. 1) можно, изменив направление сдвига в завершающей стадии процесса до смыкания серповидных надрезов [12]. Устройство (рис. 5), позволяющее реализовать предложенный способ, представляет собой две пары оправок-ножей, состоящих из соосно установленных наружных и внутренних оправок, зазор между которыми равен сумме максимальной толщины стенки трубы и не соосности ее внутреннего и наружного контура. При повороте правой оправки и обоймы относительно их смещенного центра вращения на внутренней и внешней поверхности трубчатой заготовки образуются справа и слева от вертикальной оси симметрии трубы по два серповидных надреза. Вследствие защемления заготовки между каждой парой оправок и обойм при вращении одной из них возникает

одновременное кручение отрезанной части заготовки, что в конечном итоге приводит к ее отделению от трубы по линиям надреза. При этом практически устранен скол в заключительной стадии отделения отрезаемой заготовки, на что указывает отсутствие резкого падения усилия, характерного для всех традиционных схем разделительных операций. Поверхность среза по всему периметру перпендикулярна оси трубы, без характерной для других методов резки «косины» и сигмовидности. Смятие поверхности вблизи линии резки отсутствует в связи с уменьшением мгновенной поверхности среза и соответствующего усилия на контактной поверхности. Шероховатость поверхности в пределах плоскости среза не превышает $Rz\ 3,2\dots 6,3$.

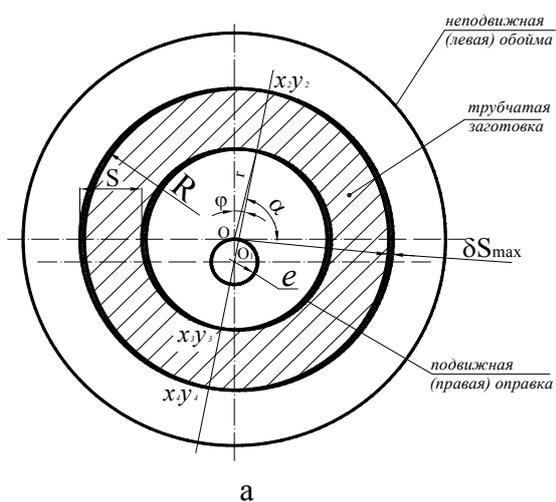


Рис. 5. Схема отрезки (а) и полученные заготовки (б)

Известен способ разделения труб на кольцевые заготовки (рис. 6), включающий вращение исходной трубы и воздействие посредством роликов с внутренней и наружной ее поверхностей на кольцевой участок трубы заданной ширины радиальными усилиями, равными по величине и направленными одно навстречу другому, отличающийся тем, что в начальный момент приложения радиальных усилий наружный и внутренний ролики перемещают один навстречу другому до достижения пластической деформации заготовки, а затем оба ролика синхронно перемещают в радиальном направлении от оси трубы. Этот способ практически полностью устраняет искажения профиля отделяемых колец, так как согласованное перемещение наружного и внутреннего роликов не приводит к искажению круглой формы отделяемого кольца [13].

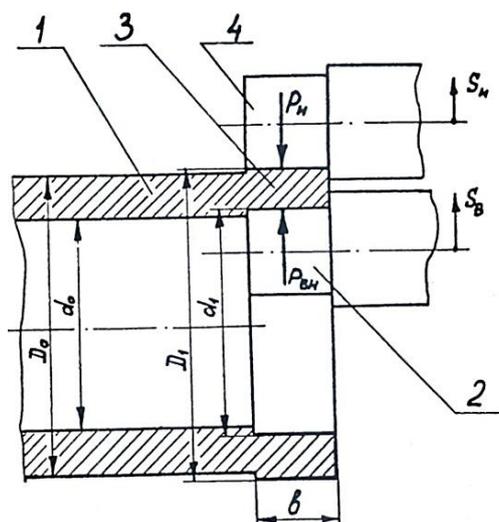


Рис. 6. Схема отрезки трубы

ВЫВОДЫ

Анализ известных технологий разделения труб показывает, что наиболее перспективными из них являются безотходные способы разделения труб на мерные заготовки.

На основании проведенного анализа можно сформулировать основные требования к процессу разделения труб: обеспечение минимальной пластической деформации при разрушении; обеспечение управляемости траекторией трещины; отсутствие больших пластических деформаций при разрушении; исключение больших контактных напряжений.

Проведенные исследования позволяют выработать рекомендации для разработки оборудования по разделению труб на мерные заготовки: воздействие на заготовку динамическими и импульсными нагрузками с использованием в качестве рабочего тела упругой среды (жидкости); создание методов нагружения для реализации сложного напряженного состояния, затрудняющего пластическое течение в зоне разрушения; использование эффекта от сильного удара в узком диапазоне очага приложения нагрузки; применение схем нагружения, которые обеспечивают локальное деформирование и разрушение по периметру трубы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карнаух С. Г. *Совершенствование безотходных энергосберегающих способов разделения сортового металлопроката и оборудования для получения заготовок высокого качества* : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Карнаух С. Г. – Краматорск, 1999. – 221 с.
2. Карнаух С. Г. *Современные подходы к реализации способа холодной ломки изгибом проката на мерные заготовки* / С. Г. Карнаух, Л. Л. Роганов // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр.* – Краматорськ-Слов'янськ : ДДМА, 2003. – С. 313–322.
3. Карнаух С. Г. *Разработка безотходных способов разделения сортового проката и оборудование для его реализации* / С. Г. Карнаух, Л. Л. Роганов // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр.* – Краматорськ : ДДМА, 2003. – С. 376–380.
4. Карнаух С. Г. *Разработка новых способов разделения сортового проката и оборудования для их реализации с использованием методики синтеза комбинированных методов обработки* / С. Г. Карнаух, Н. В. Чоста // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. пр.* – Краматорськ : ДДМА, 2006. – № 1(3). – С. 105–111.
5. Роганов Л. Л. *Разработка нового типа кузнечно-прессового оборудования для разделительных операций* / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, Н. В. Чоста // *Металлообработка.* – Санкт-Петербург, 2010. – № 6 (60). – С. 28–34.
6. Федина Т. С. *Разделение труб на заготовки* / Т. С. Федина // *Сборник аналитических материалов.* – ЦНИИИТИКПК, 1989. – № 2. – 11 с.
7. Веселовский С. И. *Разрезка материалов* / С. И. Веселовский. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.
8. Жуков Г. Г. *Механизация и автоматизация заготовительных операций на машиностроительных заводах* / Г. Г. Жуков. – М. – Л. : Машиностроение, 1966. – 112 с.
9. Соловцов С. С. *Безотходная разрезка сортового проката в штампах* / С. С. Соловцов. – М. : Машиностроение, 1985. – 176 с.
10. Финкель В. М. *Холодная ломка проката* / В. М. Финкель, Ю. И. Головин, Г. Б. Родюков. – М. : Металлургия, 1982. – 192 с.
11. *MEI Machine Tool Company : Специализированные методы резки труб [Электронный ресурс].* – Режим доступа: http://www.mei-machine.info/catalog/oborud_trub/spec_method.
12. Стеблюк В. И. *Методы совершенствования способов резки труб на короткие заготовки* / В. И. Стеблюк // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 1 (20). – С. 287–290.
13. Пат. 2056227 Российской Федерации, В23 D21/10. *Способ разделения труб на кольцевые заготовки* / Дзанашивили Г. Ф., Мальцев В. А., Свириденко В. Ф., Пожидаев Н. Н. – № 93044255/08 ; заявл. 08.09.1993 ; опубл. 20.03.1996.

Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф. каф. МТО ДГМА;

Карнаух Д. С. – аспирант ДГМА;

Карнаух С. Г. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. ОПМ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: roganov@dgma.donetsk.ua; angel-negnost@mail.ru; sergey.karnauh@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 11.03.2013 г.